

# 胶质类芽孢杆菌胞外多糖对黄羽肉仔鸡生长发育的影响

伍渡清, 钱 鹏, 胡秀芳

(浙江理工大学生物工程研究所, 杭州 310018)

**摘 要:** 研究胶质类芽孢杆菌胞外多糖(Exopolysaccharides of *Paeniacillus mucilaginosus*, PEPS)对黄羽肉仔鸡生长发育的影响。实验选取1日龄黄羽肉仔鸡192只随机分为4组:对照组饲喂基础饲料,实验组分别饲喂添加2.0、4.0 g/kg和6.0 g/kg PEPS的实验饲料,实验期28 d。结果表明:饲料添加4.0 g/kg PEPS能显著提高黄羽肉仔鸡平均日增重、降低黄羽肉仔鸡的料重比及死淘率( $P < 0.05$ );饲料添加2.0、4.0 g/kg与6.0 g/kg PEPS能显著提高黄羽肉仔鸡的免疫器官指数( $P < 0.05$ ),其中以添加4.0 g/kg PEPS效果最佳。基础饲料中添加适量的PEPS有利于黄羽肉仔鸡的生长发育。

**关键词:** 胶质类芽孢杆菌; 多糖; 黄羽肉仔鸡; 生长发育

**中图分类号:** S816.7 **文献标志码:** A

## 0 引 言

微生物多糖广泛应用于食品工业,因其独特的物化性能和生物活性,倍受保健食品研究人员的推崇与关注<sup>[1]</sup>。胶质类芽孢杆菌(*Paeniacillus mucilaginosus*, PEPS)胞外多糖是微生物多糖的一种,它是一种包裹在菌体周围的荚膜多糖<sup>[2]</sup>。PEPS与胶质类芽孢杆菌在溶磷解钾、固氮和絮凝活性等方面密切相关<sup>[3-5]</sup>,使得胶质类芽孢杆菌广泛应用于微生物肥料生产及水体净化等领域。

胶质类芽孢杆菌多糖在食品工业及医疗保健等方面的应用始于上个世纪90年代,俄罗斯学者Rasulov等<sup>[6]</sup>研究了PEPS对患有胃溃疡小鼠的治疗作用,结果表明,PEPS可有效促进小鼠溃疡部位的修复,并抑制炎症的产生;王雪等<sup>[7]</sup>研究PEPS组分,发现PEPS是一类富含甘露糖的多糖;陈廷伟等<sup>[8]</sup>以胶质类芽孢杆菌为生产菌株,采用发酵法产多糖,将PEPS用作生产保健饮料的原材料。目前

抗生素在饲料工业中的滥用,给畜禽养殖业和人类健康带来了严重危害,微生物多糖用于替代或部分替代抗生素作为新型绿色饲料添加剂,越来越成为人们研究的热点。而关于胶质类芽孢杆菌多糖在畜禽养殖方面的应用鲜见报道,为探索胶质类芽孢杆菌荚膜多糖在饲料工业中的应用潜力,本文通过添加PEPS于基础饲料中,以黄羽肉仔鸡为研究对象,研究PEPS对黄羽肉仔鸡体重增重和免疫器官指数的影响,并通过变性凝胶梯度电泳(Denature Gel Gradient Electrophoresis, PCR-DGGE)技术,分析PEPS对黄羽肉仔鸡肠道菌群数量的影响。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验设计

选取1日龄黄羽肉仔鸡192只,随机分为4组,每组设置3个重复,每个重复16只仔鸡,公母各占1/2,各组及各重复之间体重接近。对照组饲喂不添加PEPS的基础饲料,基础饲料参照美国NRC

收稿日期: 2013-03-12

基金项目: 国家863科技计划项目(2006AA10Z428)

作者简介: 伍渡清(1985-),男,湖南衡阳人,硕士研究生,主要从事应用微生物的研究。

通信作者: 胡秀芳, E-mail: huxiuf@sina.com

(1994)并结合当地饲养标准营养需要配制的粉状配合饲料,其组成及营养水平见表 1。实验组饲喂在基础饲粮中分别添加 2.0、4.0 g/kg 和 6.0 g/kg PEPS 的实验饲粮。实验期 28 d,黄羽肉仔鸡自由采食,充足饮水。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

项目	含量/%
饲粮组成	
玉米	61.16
豆粕	34.17
磷酸氢钙	1.33
石粉	1.34
食盐	0.3
氯化胆碱	0.27
豆油	0.43
预混料 <sup>1)</sup>	1.00
合计	100.00
营养水平	
代谢能 <sup>2)</sup>	13.03
粗蛋白质	20.00
赖氨酸	0.9861
蛋氨酸	0.3112
蛋氨酸+胱氨酸	0.6231
钙	0.90
有效磷	0.42

1) 预混料为每千克饲粮提供:维生素 A 8 500 IU,维生素 D3 3 000 IU,维生素 E 20 IU,维生素 K 2 mg,维生素 B1 3 mg,维生素 B2 8 mg,泛酸 10 mg,维生素 B5 36 mg,维生素 B6 4 mg,维生素 B12 0.018 mg,生物素 0.15 mg,叶酸 1.0 mg,铁 80 mg,铜 8 mg,碘 0.40 mg,硒 0.25 mg。2) 代谢能为计算值,其余为实测值。

## 1.2 实验材料

1.2.1 多糖:实验用 PEPS 为从本实验室分离保存的胶质类芽孢杆菌(已送至中国典型培养物保藏中心保藏,保藏号:CCTCC No: M 2012406)发酵液中提取制备。

发酵液制备:a) 菌种活化:将 *Paeniacillus mucilaginosus* 转接于无氮培养基(蔗糖 5.0 g/L,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5 g/L,  $\text{FeCl}_3$  0.005 g/L,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  2.0 g/L,土壤矿物 1.0 g/L,琼脂粉 20 g/L, pH 7.0~7.2)平板上活化,培养温度 28℃,时间 48 h;b) 种子液制备:将活化过的菌种接入种子培养液(蔗糖 10.0 g/L,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5 g/L,  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  2.0 g/L,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  2.0 g/L,  $\text{CaCO}_3$  0.1 g/L, pH 7.5)中,摇床振荡培养,转速 220 r/min,温度 28℃,时间 24 h;c) 发酵液制备:将 10%种子液接种于 10 L 发酵罐中,其中发酵培养液(蔗糖 20.0 g/L,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5 g/L,  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot$

$3\text{H}_2\text{O}$  1.0 g/L,  $\text{FeCl}_3$  0.005 g/L,  $\text{CaCO}_3$  0.4 g/L)为发酵罐容积的 4/5,发酵温度 28℃,转机转速 200 r/min,发酵时间 72 h。

多糖提取:采用水提醇沉法提取 *mucilaginosus* 菌株胞外多糖,具体步骤如下:

① 根据发酵液黏度状况用蒸馏水将发酵液稀释 1~3 倍,6 000 r/min 转速下,离心 15 min,去除菌体沉淀,收集上清液。

② 将收集到的上清液,在 30℃,真空度 2 kPa 下于真空烘箱中减压浓缩至发酵液体积的 1/3。

③ 于浓缩液中加入 2~3 倍体积的 95%无水乙醇,放置 4℃冰箱沉淀过夜。

④ 取出过夜沉淀的样品,6 000 r/min 转速下,离心 15 min,收集多糖沉淀。

⑤ 将收集到的多糖沉淀先后依次置于-20℃, -40℃和-80℃超低温冰箱预冷,每种温度下冷冻 16 h,共计 48 h。

⑥ 经预冷的样品采用真空冷冻干燥装置进行冻干,时间 24 h,最终所得白色粉状固体即为胶质类芽孢杆菌粗多糖(样品中多糖含量:92.31%,考马斯亮蓝蛋白呈色反应为阴性,表明样品中不含蛋白或含量极少;多糖成分及质量比为木糖:甘露糖:葡萄糖:半乳糖=1:4.04:5.57:3.08)。

1.2.2 实验动物:本实验所用黄羽肉仔鸡购自浙江余姚神农畜禽有限公司。

## 1.3 测定指标及测定方法

### 1.3.1 检测指标

每周测定各组黄羽肉仔鸡采食量、体增重,计算日均采食量(g/d)、日均增重(g/d)和料重比(日采食量/日体增重)。

第 28 天,对黄羽肉仔鸡的死淘率进行统计分析。

此外,每个重复组随机选取 4 只黄羽肉仔鸡,空腹称重,解剖,取其脾脏、胸腺和法氏囊等免疫器官称重,计算各免疫器官指数。

免疫器官指数(%)=(器官重量/体重)×100

### 1.3.2 肠道内容物菌群分析

解剖过程中,分别收集每个重复组解剖的 4 只黄羽肉仔鸡盲肠内容物,并将其混合均匀,提取总基因组 DNA<sup>[9]</sup>,采用 PCR-DGGE 技术分析其肠道细菌菌群数量变化。所用引物 968f: (5'-AACGCGAA GAACCTTAC-3') 和 1401r-GC 夹: (5'-CGCCC GC-CGC GCGCG GCGGG CGGGG CGGGG CACGGG CGGTG TGTAC AAGAC CC-3') 扩增 16s rDNA 基

因的V6~V8区。DGGE指纹图谱分析用Bio-Rad DCodeTM mutation detection system,具体参数为:6%聚丙烯酰胺凝胶,40%~60%变性剂梯度,160 V、60℃电泳8 h,染色,凝胶成像系统分析。

### 1.3.3 统计分析

实验数据采用SPSS18.0统计软件中的ANOVA进行方差分析,Duncan多重比较检验,分析结果表示为平均值±标准差, $P<0.05$ 为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 PEPS对黄羽肉仔鸡生产性能的影响

由表2可知,饲料中添加2.0、4.0 g/kg和6.0 g/kg PEPS实验组黄羽肉仔鸡日均采食量与对照组比较差异不显著( $P>0.05$ )。从增重结果看,4.0 g/kg PEPS实验组第1~2周、3~4周和整个实验

期黄羽肉仔鸡日均增重显著高于对照组( $P<0.05$ );2.0与6.0 g/kg PEPS实验组第1~2周黄羽肉仔鸡日均增重与对照组比较差异不显著( $P>0.05$ ),而第3~4周和整个实验期黄羽肉仔鸡日均增重均显著高于对照组( $P<0.05$ ),但二者之间在第3~4周和整个实验期黄羽肉仔鸡日均增重差异不显著( $P>0.05$ )。实验结束的第28天,所有实验组的黄羽肉仔鸡体重均显著高于对照组( $P<0.05$ )。4.0 g/kg PEPS实验组黄羽肉仔鸡的料重比显著低于对照组( $P<0.05$ );2.0与6.0 g/kg PEPS实验组第1~2周黄羽肉仔鸡料重比与对照组比较差异不显著( $P>0.05$ ),而在第3~4周和整个实验期黄羽肉仔鸡料重比均显著低于对照组( $P<0.05$ ),而二者之间在第3~4周和整个实验期黄羽肉仔鸡料重比差异不显著( $P>0.05$ )。

表2 PEPS对黄羽肉仔鸡生产性能的影响

项目	饲养时间	PEPS添加水平/(g/kg)			
		0	2.0	4.0	6.0
日均采食量/g	1~2周	8.37±1.43	8.43±2.12	8.62±1.75	8.41±1.28
	3~4周	17.98±2.53	18.27±1.95	18.85±1.64	18.02±2.34
日均增重/g	1~4周	13.53±1.56	13.96±1.35	14.32±1.48	13.66±0.96
	1~2周	3.26±0.24 <sup>b</sup>	3.32±0.25 <sup>b</sup>	3.56±0.22 <sup>a</sup>	3.30±0.23 <sup>b</sup>
	3~4周	5.94±0.31 <sup>c</sup>	6.26±0.30 <sup>b</sup>	6.51±0.24 <sup>a</sup>	6.18±0.22 <sup>b</sup>
	1~4周	4.60±0.27 <sup>c</sup>	4.81±0.25 <sup>b</sup>	5.04±0.21 <sup>a</sup>	4.74±0.21 <sup>b</sup>
体重/g	第28天	169.36±1.08 <sup>d</sup>	177.65±0.49 <sup>b</sup>	181.90±2.94 <sup>a</sup>	173.28±2.03 <sup>c</sup>
	1~2周	2.57±0.03 <sup>a</sup>	2.54±0.02 <sup>a</sup>	2.42±0.07 <sup>b</sup>	2.55±0.01 <sup>a</sup>
料重比	3~4周	3.03±0.04 <sup>a</sup>	2.92±0.01 <sup>b</sup>	2.90±0.03 <sup>c</sup>	2.92±0.04 <sup>b</sup>
	1~4周	2.94±0.04 <sup>a</sup>	2.90±0.01 <sup>b</sup>	2.84±0.04 <sup>c</sup>	2.88±0.03 <sup>b</sup>

同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著( $P>0.05$ ),不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下表同。

### 2.2 PEPS对黄羽肉仔鸡免疫器官指数的影响

多糖是一种有效的免疫调节剂,为此分析了PEPS对黄羽肉仔鸡免疫器官的影响,结果见表3。由表3可知,饲料中添加2.0、4.0和6.0 g/kg PEPS实验组黄羽肉仔鸡的免疫器官指数显著高于对照组( $P<0.05$ )。

其中各实验组的胸腺指数分别提高了17.20%、22.49%和12.17%,脾脏指数分别提高了16.37%、18.51%和7.12%,法氏囊指数分别提高了12.30%、23.81%和7.14%;且不同添加水平之间也存在显著差异( $P<0.05$ ),以添加4.0 g/kg PEPS的效果最佳。

表3 PEPS对黄羽肉仔鸡免疫器官指数的影响

项目	PEPS添加水平/(g/kg)			
	0	2.0	4.0	6.0
胸腺指数	0.378±0.005 <sup>d</sup>	0.443±0.006 <sup>b</sup>	0.463±0.002 <sup>a</sup>	0.424±0.002 <sup>c</sup>
脾脏指数	0.281±0.005 <sup>d</sup>	0.327±0.003 <sup>b</sup>	0.333±0.002 <sup>a</sup>	0.301±0.004 <sup>c</sup>
法氏囊指数	0.252±0.003 <sup>d</sup>	0.283±0.004 <sup>b</sup>	0.312±0.004 <sup>a</sup>	0.270±0.002 <sup>c</sup>

### 2.3 PEPS对黄羽肉仔鸡死淘率的影响

实验结束时,黄羽肉仔鸡的死淘率见表4。由表4可知,4.0 g/kg PEPS实验组黄羽肉仔鸡的死淘率显著低于对照组( $P<0.05$ ),2.0和6.0 g/kg

PEPS实验组彼此之间的死淘率差异不显著( $P>0.05$ );2.0和6.0 g/kg PEPS实验组黄羽肉仔鸡死淘率略低于对照组,但差异不显著( $P>0.05$ )。

表 4 PEPS 对黄羽肉仔鸡死淘率的影响

项目	PEPS 添加水平/(g/kg)			
	0	2.0	4.0	6.0
死淘率/%	20.83±3.61 <sup>a</sup>	16.67±3.61 <sup>ab</sup>	12.5±0.00 <sup>b</sup>	16.67±3.61 <sup>ab</sup>

#### 2.4 PEPS 对黄羽肉仔鸡肠道细菌微生态的影响

肠道菌群对动物的营养和健康具有重要作用,因此分析了 PEPS 对黄羽肉仔鸡肠道菌群的影响。由图 2PCR-DGGE 指纹图谱可知,饲料中添加 2.0、4.0 g/kg 和 6.0 g/kg PEPS 的实验组,其电泳条带的数量比对照组都有所减少,其中 2.0 g/kg 和 4.0 g/kg PEPS 实验组条带减少尤为明显。图 2 中条带 a~h 是添加不同水平 PEPS 后黄羽肉仔鸡肠道菌群 DGGE 指纹图谱的主带,代表了肠道菌群中的优势细菌。条带 a 和 f 代表的两种细菌在 2.0 g/kg 和 4.0 g/kg PEPS 实验组泳道内亮度较 6.0 g/kg PEPS 实验组和对照组亮,表明添加 2.0 g/kg 和 4.0 g/kg PEPS 有利于这两种细菌在黄羽肉仔鸡肠道内生存与繁殖;条带 b 位置代表的细菌在添加不同水平的 PEPS 各泳道内亮度不同,其中添加 2.0 g/kg 和 4.0 g/kg PEPS 实验组较之 6.0 g/kg 和对照组暗,表明该菌在添加 2.0、4.0 g/kg 的 PEPS 水平下会降低该菌的数量;条带 h 代表的细菌在 6.0 g/kg PEPS 实验组和对照组泳道内均有指示条带,而在 2.0 g/kg 和 4.0 g/kg PEPS 实验组泳道内无条带出现,表明添加 2.0 g/kg 和 4.0 g/kg 水平的 PEPS 会抑制该菌在黄羽肉仔鸡肠道内生存与繁殖。本实验主要是研究添加不同水平 PEPS 对黄羽肉仔鸡肠道菌群多样性的影响,其中优势种群及其变化显著的种群的种属特征有待进一步分析。

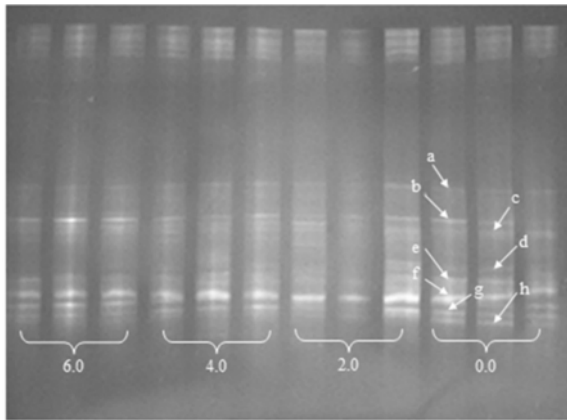


图 2 PEPS 对黄羽肉仔鸡肠道微生态的影响

注:图中 0.0、2.0、4.0、6.0 表示 PEPS 添加水平(g/kg);a~h 所指示的电泳条带,代表不同的细菌;图中同一水平位置的条带代表同一类细菌;条带亮度越亮代表肠道内细菌含量越高,反之,则越低。

### 3 讨论

#### 3.1 PEPS 对黄羽肉仔鸡生产性能的影响

PEPS 是一类富含甘露糖的酸性细菌多糖。据报道,在饲料中添加少量甘露寡糖能提高动物日增重及饲料转化率,在动物营养上具有广阔的应用前景<sup>[10-11]</sup>。Kim 等<sup>[12]</sup>研究表明,饲料中添加 0.025% 甘露聚糖可显著提高第 3~4 周龄肉鸡仔鸡的采食量。香菇多糖是富含甘露聚糖的真菌多糖<sup>[13]</sup>,Guo 等<sup>[14]</sup>发现饲料中添加 5.0 g/kg 香菇多糖显著促进肉鸡的生长。夏林等<sup>[15]</sup>研究结果显示,饲料中添加 500、750、1 000 mg/kg 甘露寡聚糖能显著提高爱拔益加肉仔鸡的体重增重,降低料重比。本实验中,添加 4.0 g/kg PEPS 均能显著提高黄羽肉仔鸡的日均采食量、日均增重,降低料重比,这可能与 PEPS 在黄羽肉仔鸡体内消化降解过程中释放出甘露糖有关,且胶质类芽孢杆菌是一类产酸性多糖的细菌,其多糖具一定酸性,添加于饲料中可能改善饲料的适口性;本文所采用的方法,表明多糖并非添加越多越好,而需要控制在一个适宜水平。可见,黄羽肉仔鸡饲养过程添喂适宜 PEPS,能有效增进体重、降低料重比。

#### 3.2 PEPS 对黄羽肉仔鸡免疫器官指数的影响

免疫器官指数是衡量动物免疫器官发育的一个重要指标,胸腺和脾脏是动物重要的免疫器官,法氏囊是禽类的中枢免疫器官,可产生 B 淋巴细胞,从而产生特异性抗体来完成特定的免疫应答。多糖可促进动物免疫器官发育,谢红兵等<sup>[16]</sup>研究表明,饲料中添加香菇多糖的实验组较之对照组能显著提高肉仔鸡的免疫器官指数。李广等<sup>[17]</sup>研究了 α-甘露低聚糖对新罗曼褐雏鸡免疫器官发育的影响,发现 α-甘露低聚糖具有明显增加免疫器官的重量作用,同时能显著增加雏鸡的体重,但高剂量 α-甘露低聚糖对鸡的免疫器官和生长速度没有明显的累加效应。本实验中 PEPS 对黄羽肉仔鸡免疫器官指数影响的结果表明,饲料添加 2.0、4.0、6.0 g/kg 的 PEPS 均能显著提高黄羽肉仔鸡的免疫器官指数,促进免疫器官的发育,这可能与 PEPS 富含甘露糖有关。从不同添加水平效果看,添加 4.0 g/kg 效果优于添加 2.0、6.0 g/kg,表明 PEPS 要发挥较好的

作用,其添加水平还须控制在一定的范围之内。

### 3.3 PEPS对黄羽肉仔鸡死淘率的影响

目前抗生素的过量使用日益威胁着食品与环境安全,是制约养殖业可持续发展的一个重要因素,因此在降低抗生素使用量的条件下如何提高养殖动物的免疫力和死亡率是当前养殖业急待解决的关键问题<sup>[18-19]</sup>。目前国内外研究较多的是多糖的代替性应用。刘卫东等<sup>[20]</sup>在饲料中添加甘露寡糖,发现可显著降低肉鸡的死淘率。实验过程中黄羽肉仔鸡死淘率较高,其中在对照组的一些重复组中死淘率高达25%,这可能是由于实验过程中未进行免疫接种有关(实验过程中发现有黄羽肉仔鸡出现不采食,精神萎靡等症状)。但与对照组比较,发现饲料添加4.0 g/kg PEPS可显著降低黄羽肉仔鸡的死淘率,而添加2.0 g/kg和6.0 g/kg PEPS黄羽肉仔鸡的死淘率较之对照组虽不显著,但都比对照组的死淘率低。由此可见,在饲料中添加一定量的PEPS能有效降低黄羽肉仔鸡的死淘率。

### 3.4 PEPS对黄羽肉仔鸡肠道细菌微生态的影响

动物肠道内的正常菌群对维持宿主消化功能,限制或抑制病原菌在肠道的定植起着重要作用,动物肠道菌群的组成与食物密切相关。已有研究表明,甘露聚糖能有效改善肉鸡肠道微生态<sup>[21]</sup>;Kim等<sup>[12]</sup>研究发现饲料中添加0.25%的果聚糖和0.05%的甘露聚糖有利于增加乳酸菌在肉鸡肠道内的数量,在一定程度上可作为一种益生菌替代抗生素在饲料工业中的应用。本文通过对肠道细菌16S rDNA PCR-DGGE指纹图谱分析结果可知,条带i所代表的细菌在添加2.0、4.0 g/kg的PEPS在肠道内数量会增加,添加6.0 g/kg的反而会降低;而条带c位置结果刚好相反,这可能与胶质类芽孢杆菌多糖是一类酸性多糖有关,添加适量多糖在一定程度上改变肠道pH值,有利于某类细菌的生存与繁殖,同时抑制另一些细菌的繁殖,从而达到调节肠道菌群的作用。

## 4 结 论

实验通过将胶质类芽孢杆菌多糖添加于黄羽肉仔鸡基础饲料,探索该类微生物多糖在饲料工业中应用潜力,并取得了初步效果:饲料中添加4.0 g/kg的PEPS能提高黄羽肉仔鸡的日均体增重;饲料中添加PEPS均能有效提高免疫器官指数,促进免疫器官的发育,效果以4.0 g/kg最好;饲料中添加4.0 g/kg的PEPS能有效降低黄羽肉仔鸡的死淘率。

## 参考文献:

- [1] 史崇颖,田 洋,吕 薇,等. 微生物发酵食品的营养特征与保健功效[J]. 科技情报开发与经济, 2012, 22(8): 116-118.
- [2] 陈廷伟. 胶质芽孢杆菌分类名称及特性研究: 综述[J]. 土壤肥料, 2002(4): 5-10.
- [3] 连 宾,傅平秋,莫德明,等. 硅酸盐细菌解钾作用机理的综合效应[J]. 矿物学报, 2002(2): 179-183.
- [4] 刘五星,徐旭士,杨启银,等. 胶质芽孢杆菌对土壤矿物的分解作用及机理研究[J]. 土壤, 2004, 36(5): 547-550.
- [5] 王 雪,袁晓凡,赵 兵. 胶质芽孢杆菌培养条件及发酵工艺的研究进展[J]. 过程工程学报, 2010(2): 409-416.
- [6] Rasulov M M, Kuznetsov I G, Slutskii L I, et al. The ulcerostatic effect of the exopolysaccharide from *Bacillus mucilaginosus* and its possible mechanisms[J]. Biull Eksp Biol Med, 1993, 116(11): 504-505.
- [7] 王 雪. 胶质芽孢杆菌 PM13 菌株发酵工艺的研究[D]. 北京: 中国科学院过程工程研究所, 2010: 35-36.
- [8] 陈廷伟,祁 宏,陈向东. 利于细菌发酵生产多糖保健饮料的方法: 中国, 02100559[P]. 2003-04-16.
- [9] Malinen E, Rinttilä T, Kajander K, et al. Analysis of the fecal microbiota of irritable bowel syndrome patients and healthy controls with real-time PCR[J]. Am J Gastroenterol, 2005, 100(2): 373-382.
- [10] 瞿明仁. 功能性寡糖及其在动物营养中研究进展[C]. 中国畜牧兽医学会动物营养学分会第8届全国代表大会暨第10届学术研讨会. 杭州, 2008.
- [11] 孔 涛,朱连勤,曲韵笙. 甘露寡糖的生物学功能及在畜牧业中的应用[J]. 饲料工业, 2006(8): 13-16.
- [12] Kim G B, Seo Y M, Kim C H, et al. Effect of dietary prebiotic supplementation on the performance, intestinal microflora, and immune response of broilers[J]. Poultry Science, 2010, 90(1): 75-82.
- [13] 李 健,刘 宁,陈 平. 香菇多糖单糖组成及含量的测定方法研究[J]. 化学与黏合, 2005(2): 71-74.
- [14] Guo F C, Williams B A, Wakkal R. P K, et al. Effects of mushroom and herb polysaccharides, as alternatives for an antibiotic, on the cecal microbial ecosystem in broiler chickens[J]. Poultry Science, 2004, 83(2): 175-182.
- [15] 夏 林,张 博,杨芳敏. 日粮添加甘露寡聚糖对肉仔鸡生产性能和肠道微生物群落的影响[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2008(5): 16-17.
- [16] 谢红兵,常新耀,苗志国,等. 香菇多糖对肉仔鸡生产性能及免疫器官的影响[J]. 贵州农业科学, 2011(9): 149-151.
- [17] 李 广,付明哲,刘 璐,等.  $\alpha$ -甘露低聚糖对雏鸡

- 免疫器官发育的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2001 (4): 383-387.
- [18] 左程丽, 李 端. 加强肉制品中的抗生素监控 保障食品安全和人类健康[J]. 食品安全导刊, 2011(8): 36-37.
- [19] 彭红利. 从养殖业抗生素滥用谈我国食品安全领域的政府规制[J]. 生态经济, 2012(10): 136-139.
- [20] 刘卫东, 宋素芳, 程 璞. 甘露寡糖和益生菌对肉仔鸡生产性能和肠道菌群的影响[J]. 家畜生态学报, 2011, 32(1): 32-35.
- [21] 温若竹, 江 芸, 刘泽兴, 等. 甘露寡糖对肉仔鸡肠道形态及微生物区系的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与科学版, 2011, 37(1): 83-90.

## Effect of Exopolysaccharides of *Paeniacillus mucilaginosus* (PEPS) on Growth and Development of Yellow-feathered Broilers

WU Du-qing, QIAN Peng, HU Xiu-fang

(School of Life Sciences, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** With yellow-feathered broilers as the research object, this paper studies the effect of PEPS on the growth and development of yellow-feathered broilers. The experiment selects 192 1-day-old yellow-feathered broilers and divides them into four groups randomly; those in the control group are fed with basic feedstuffs and those in the experimental group are respectively fed with experimental feedstuffs containing 2.0, 4.0 and 6.0 g/kg PEPS. The experimental period is 28 days. The result shows that adding 4.0 g/kg PEPS to feedstuffs can greatly improve the average daily gain and decrease feed conversion ratio and death and culling rate( $P < 0.05$ ) of yellow-feathered broilers; adding 2.0, 4.0 and 6.0 g/kg PEPS to feedstuffs can greatly improve immune organ index of yellow-feathered broilers( $P < 0.05$ ). Adding 4.0 g/kg PEPS has the best effect. Adding an appropriate amount of PEPS to basic feedstuffs is good for the growth and development of yellow-feathered broilers.

**Key words:** paenibacillus mucilaginosus; polysaccharides; yellow-feathered broilers; growth and development

(责任编辑: 许惠儿)